

MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DIE ANZAHL UND KALIBER DER MARKHALTIGEN NERVENFASERN
IM FASCICULUS OPTICUS DES MENSCHEN

von

NAWAF GEBARA

1965.

Aus der Universitäts-Augenklinik Mainz

Direktor: Professor Dr. W. Herzau

MIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE ANZAHL UND KALIBER DER MARKHALTIGEN NERVENFASERN

IM FASCICULUS OPTICUS DES MENSCHEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Hohen Medizinischen Fakultät

der Johannes Gutenberg-Universität zu Mainz

vorgelegt von

NAWAF GEBARA

aus Marjayoun/Libanon

MAINZ 1965

Dekan: Professor Dr.med. Thomsen
Referent: Professor Dr. O. Oppel
Korreferent: Professor Dr.med. W. Herzau
Tag der mündl. Prüfung: 2.2.1965

Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst, Mainz

INHALTSVERZEICHNIS

- I. Einleitung
- II. Hauptteil:
 - A.) Problem- und Aufgabenstellung
 - B.) Methodik
 - C.) Fotografische Wiedergabe der einzelnen histologischen Schnitte
 - D.) Untersuchungsergebnisse
- III. Besprechung der Untersuchungsergebnisse
- IV. Zusammenfassung
- V. Literatur

I. EINLEITUNG

Es sind bisher nur wenige Veröffentlichungen über die Anzahl der markhaltigen Nervenfasern im Fasciculus opticus des Menschen erschienen. Ich habe die einschlägige Literatur durchgearbeitet und dabei festgestellt, daß sehr verschiedene Ergebnisse auf diesem Gebiet erzielt wurden.

Die Angaben über die Zahl der Nervenfasern schwanken zwischen 30 000 bis 40 000, die Kuhnt festgestellt haben will, und zwischen 1 140 003, die Brühlische und Arey gefunden haben. Dazwischen liegen die Ergebnisse von Salzer mit 438 000; von Krause mit 800 000 und Polyak mit 800 000 und mehr als 1 Mill. ermittelten Sehnervenfasern.

Es liegt auf der Hand, daß nicht alle dieser sehr unterschiedlichen Angaben zutreffen können. Die sehr differenzierenden Zahlenangaben sind wahrscheinlich methodisch bedingt. Es ist bekannt, daß die Nervenfasern des Fasciculus opticus mit zu den feinsten markhaltigen Nervenfasern gehören. Bei einer nicht ausreichenden Vergrößerung können daher zahlreiche feine markhaltige Nervenfasern übersehen werden. Die Dicke der einzelnen Sehnervenfasern ist recht unterschiedlich. Nach Kuhnt soll die Sehnervenfaserdicke bei 2μ , nach Krause zwischen $1,1$ und $4,5\mu$ und nach C.H.Sattler bei 1 bis $1,5\mu$ liegen. Es wird jedoch bereits von diesen Autoren angegeben, daß zwischen den einzelnen Sehnervenfasern der genannten Größenordnung auch noch zahlreiche feinere sowie spärlich dickere Fasern bis zu 10μ vorkämen.

Weiterhin bleibt jedoch auch noch zu bedenken, daß der Zeitpunkt der Untersuchung eine erhebliche Rolle spielt. Zur Zeit der Geburt ist der intra-orbitale Abschnitt des Sehnerven meist noch völlig marklos, erst nach 9 bis 10 Wochen kommt es zu einer fortschreitenden Markscheidenbildung und -reifung (Bernheimer und Westphal), die an den ableitenden Fasern des papillo-maculären Bündels sogar erst nach 6 Monaten eintreten soll.

Die einzelnen Sehnervenfasern sind meist zu mehr oder weniger dicken Faserbündeln zusammengefaßt, die auf ihrer marklosen Strecke vor der Lamina fibrosa eine Dicke zwischen 30 bis 40μ und im markhaltigen Abschnitt hinter der Lamina cribrosa eine Dicke von 108 bis 144μ aufweisen (W.Krause).

Weiterhin wurde in jüngster Zeit von Duke Elder darauf hingewiesen, daß sich im Fasciculus opticus nicht nur aufsteigende Sehnervenfasern, sondern auch zentrifugale marklose Fasern finden, über die bis heute allerdings noch keine exakten oder auch nur schätzungsweise zutreffenden Zahlen vorliegen.

Unter den markhaltigen Nervenfasern werden von Gudden die dünnen Fasern als Sehnervenfasern, die dicken als Pupillar- oder Reflexfasern angesehen. Weiterhin wurde von Westphal die Vermutung ausgesprochen, daß aus den Ciliarnerven stammende Fasern unregelmäßig über den Sehnerven verteilt seien. Diese wären dicker und würden Markscheiden früher erhalten als die eigentlichen Sehfasern.

II. HAUPTTEIL

A.) Problem- und Aufgabenstellung

Es wurde mir von Herrn Professor Dr. Oppel die Aufgabe gestellt, nochmals mit einer exakten Methode Zählungen über die Gesamtzahl der markhaltigen Sehnervenfasern im Fasciculus opticus eines erwachsenen Menschen durchzuführen. Zweck der Untersuchung sollte sein, aus der Gesamtzahl der markhaltigen Sehnervenfasern Rückschlüsse auf die in der Netzhaut stattfindenden Schaltvorgänge ziehen zu können. Von Oppel wurde in der jüngsten Zeit in mehreren Arbeiten die Ansicht vertreten, daß die verschiedenen hochdifferenzierten Funktionen des menschlichen Sehapparates und die unterschiedlichen Funktionsqualitäten sich bereits in den synaptischen Schaltmechanismen der Netzhaut verankert finden. Diese Ansicht stützt sich auf die Tatsache, daß in der Netzhaut sich eine sehr viel größere Zahl von Zapfen und Stäbchen nachweisen lassen, als ableitende Sehnervenfasern zur Verfügung stehen. Die Zahl der Zapfen in der gesamten Netzhaut des Menschen wird von Krause mit 7 Mill., von Oesterberg mit 6,3 bis 6,8 Mill., von Salzer mit 3,35 Mill. und von Polyak mit mehr als 4 Mill. angegeben. Die Angaben über die Zahl der Stäbchen schwanken zwischen 100 Mill. bis 125 Mill. nach Oesterberg und 130 Mill. nach Krause. Bei der sehr großen Zahl an Sinneselementen (Stäbchen und Zapfen) in der Netzhaut und der relativ geringen Zahl an markhaltigen Nervenfasern kann daher eine sinnvolle Erregungsweiterleitung nur durch entsprechende Schaltmechanismen in den Synapsen der Ganglienschichten der Netzhaut selbst ermöglicht werden.

Leider gibt es noch keine ausreichend sicheren Kenntnisse über die Funktionsprinzipien und Steuerungseinrichtungen der einzelnen Schaltmechanismen.

Granit vertritt die Ansicht, daß in bestimmtem Umfange vom Gehirn aus unsere Sehvorgänge und die Schalteinrichtungen in der Netzhaut über zentrifugale Nervenfasern und -impulse gesteuert werden. Granit bewies im Experi-

ment, daß sich die Sensivität der einzelnen Netzhautelemente durch elektrische Reizung im Gehirn, durch zentrifugale Impulse im Sinne einer Erregungsförderung oder einer Hemmung beeinflussen läßt.

Dotd machte das Vorhandensein efferenter Sehnervenfasern durch die gelungene Registrierung biologischer zentrifugaler Impulse am Kaninchenaugewahr-scheinlich.

Rohen berichtet ebenfalls über die Existenz zentrifugaler Nervenfasern im Fasciculus opticus und führt weiter aus, daß an den Synapsen der Bipolaren diese zentrifugalen Fasern in der inneren plexiformen Schicht der Netzhautenden würden.

Von Oppel wurde hervorgehoben, daß das menschliche Sehorgan ein hochentwickeltes und hochdifferenziertes komplexes Funktionsorgan darstellt, das phylogenetisch am Ende einer längeren Entwicklungsreihe steht. Es werden von ihm unterschiedliche Leistungsapparate mit unterschiedlichen Funktionsqualitäten angenommen, die von ihm als Hell-Dunkelapparat, Orientierungsapparat und Differenzierungsapparat bezeichnet werden. Aus der in Abb.1 wiedergegebenen Darstellung, die aus einer Arbeit von Oppel stammt, ist ersichtlich, welche Vorstellungen über die Art der synaptischen Schaltmechanismen in der Netzhaut von ihm vertreten werden. Aus der gegebenen Darstellung ließ sich verstehen, warum trotz der großen Zahl von Sinneselementen in der Netzhaut nur eine sehr viel geringere Zahl an ableitenden markhaltigen Sehnervenfasern erforderlich ist. In Abb.1 ist aus der wiedergegebenen Darstellung bereits ersichtlich, daß Oppel unterschiedliche Fasertypen im Fasciculus opticus annimmt. Nach seiner Ansicht sollen die Sehnervenfasern des Differenzierungsapparates die geringste Dicke aufweisen, während die des Hell-Dunkelapparates sich durch eine besondere Dicke auszeichnen würden. Es wurde mit daher zusätzlich die Aufgabe gestellt, die einzelnen markhaltigen Sehnervenfasern nach ihrem Kaliber zu messen und sie danach auszuzählen, ob es sich um dünne Sehnervenfasern (unter 2μ), um mitteldicke Sehnervenfasern (zwischen 2 und 4μ) oder um dicke Sehnervenfasern (4 bis 8μ) und vereinzelt darüber handelt.

B.) Methodik

Der Fasciculus opticus eines gesunden 30 jährigen Mannes diente unseren Untersuchungen. Das vollsichtige und völlig funktionstüchtige Auge mußte wegen eines in tablua durch Gefrierschnitt gesicherten Melanoblastoms der Conjunctiva auf dem Wege einer Exenteratio orbitae entfernt werden. Histologische Schnitte von 5μ Dicke aus dem mittleren Bereich des Fasciculus opticus wurden nach vorhergehender Formolfixation und Paraffineinbettung angefertigt, die Markscheidenfärbung nach Weigert gewählt. Dann Auswahl des besten Schnittes und Anfertigung von Übersichtsaufnahmen bei 75 facher Vergrößerung. Reproduktion und Fotomontage des 75 fach vergrößerten Opticusquerschnittes und Übertragung auf gleichmäßig dickes kartonähnliches Fotopapier (siehe Abb. 2). Ermittlung der Gesamtfläche des Opticusquerschnittes, sowie des Verhältnisses zwischen Nervenfaserfläche zu den Septenflächen auf dem Umwege über Gewichtsmessung mit Hilfe einer Mikrowaage

- a) eines Stückes ($10\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 100\text{ cm}^2$) der verwendeten Fotopappe,
- b) des Gesamtgewichtes des Opticusquerschnittes (OO gesamt),
- c) der Nervenfaserglächen (N) und
- d) der Septenflächen (S).

Für die Gewichtsermittlungen der Nervenfaserfläche und der Septenfläche wurde die 75 fache vergrößerte Abbildung der Opticusscheibe sorgfältig zerschnitten.

Auf folgende Weise wurde die Auszählung der markhaltigen Sehnervenfasern vorgenommen: Herstellung einer lückenlosen Serie von Mikroaufnahmen in vertikaler Richtung aus dem Mittelabschnitt des Fasciculus opticus bei 1 250-facher Vergrößerung (siehe Abb. 2). Durchmusterung der Bildreproduktionen und Ausmessung sowie Kenntlichmachung nach den vorliegenden Durchmesser. Fasertyp o, p (5-10 mm) = rot; Fasertyp m, n (2,5-5,0 mm) = grün; Fasertyp s (2,5 mm und weniger) = schwarz (siehe Abb. 3); danach Übertragung auf transparentes Millimeterpapier und Auszählung der Fasertypen pro Flächeneinheit in cm^2 .

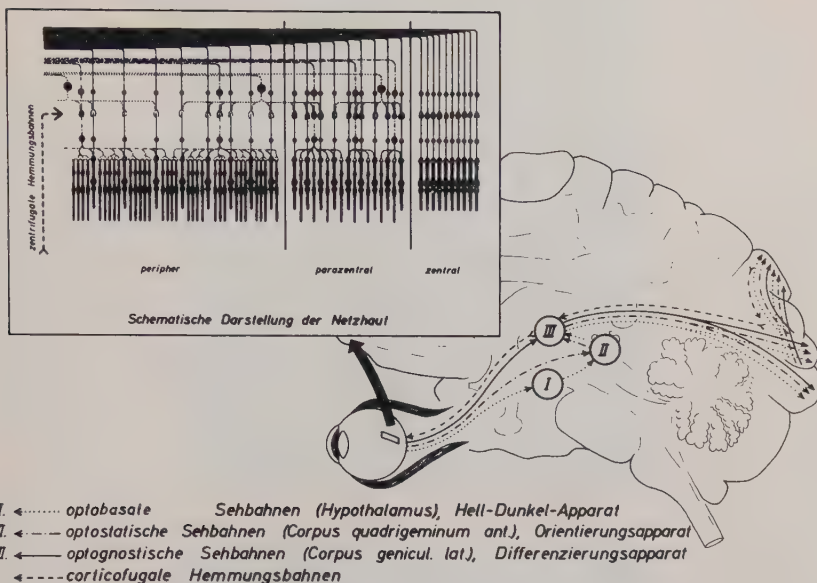


Abb.1. Die verschiedenen Leistungsapparate des menschlichen Sehorganes und dessen funktionelle Schaltsysteme in der Netzhaut. Der zentrale, nur mit monosynaptischen Fortleitungsmöglichkeiten ausgestattete Netzhautbereich (Fovea) besitzt einen ungefähren Durchmesser von 40 bis 60 Winkelminuten (nach O.Oppel).

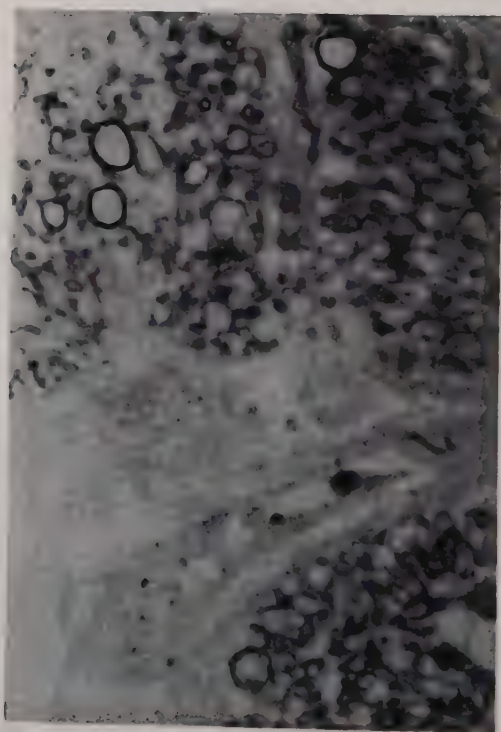
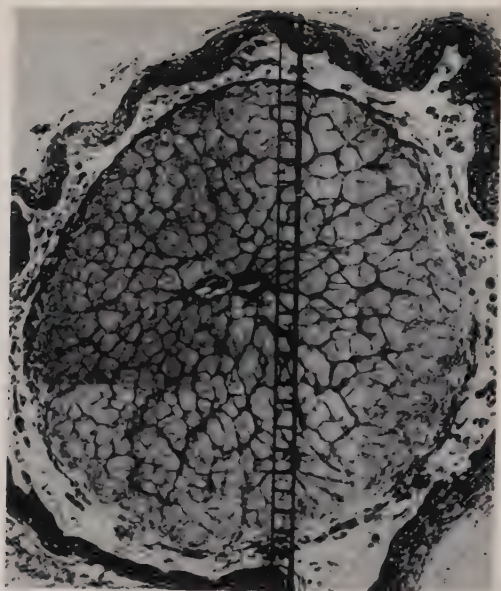


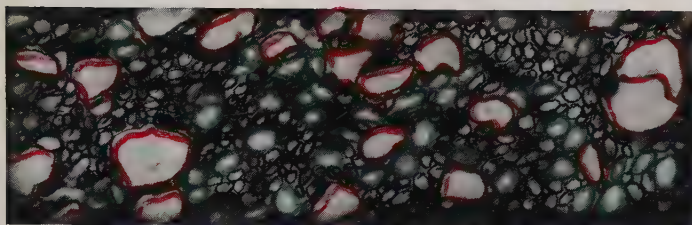
Abb.2. Photomontage des 75 fach vergrößerten Opticusquerschnittes. Aus Wiedergabegründen in der vorliegenden Abbildung Vergr. 19x. Die beiden Linien geben den Filmverlauf an. Diese Bahn entspricht 2 mm Breite. So erfolgt die Herstellung von Mikroaufnahmen bei 1250 facher Vergrößerung. Die markhaltigen Nervenfasern wurden in dem Gebiet auf folgende Weise ausgezählt: mit Hilfe einer Lupe wurden die Fasern auf dem Originalbild je nach Größe mit Tusche gefärbt:

rot	=	5-10 mm, Fasertyp o und p
grün	=	2,5-5 mm, Fasertyp m und n
schwarz	=	2,5 mm und darunter, Fasertyp s.

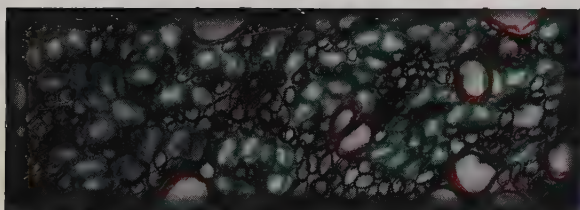
Abb.3. Histologischer Querschnitt durch den Fasciculus opticus nach 1250 facher Vergrößerung und Färbung nach Weigert. Diese Fasern wurden auf Transparentpapier ebenfalls mit Tusche übertragen und mit Hilfe von Millimeterpapier gezählt. Das Gebiet wurde pro cm^2 gerechnet.

C.) Fotografische Wiedergabe der einzelnen
histologischen Schnitte

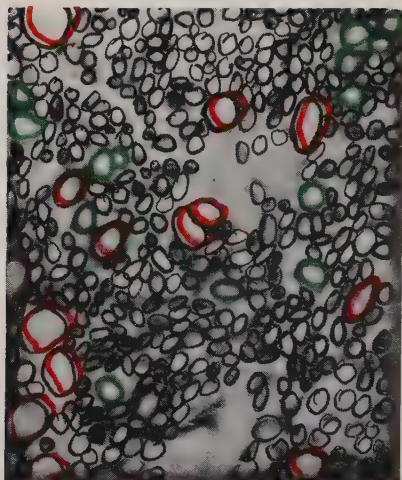
Lediglich die ersten vier Abbildungen werden farbig wiedergegeben, während alle weiteren aus Gründen der Kostenersparnis nur schwarz-weiß erscheinen.



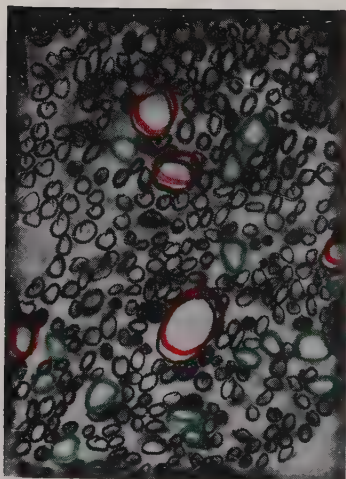
Fl. 8 x 3	=	24 cm ²
rot	=	17
grün	=	80
schwarz	=	<u>288</u>
		385



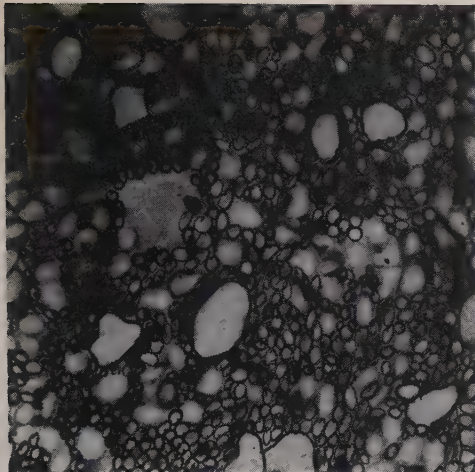
Fl. 9,4 x 3,1	=	29,14 cm ²
rot	=	25
grün	=	66
schwarz	=	<u>469</u>
		560



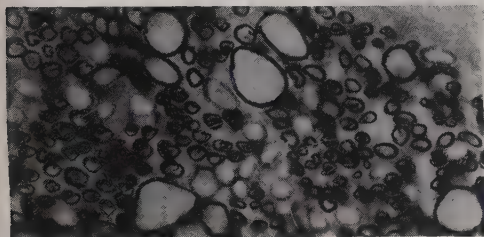
Fl. 4,9 x 6,5	=	31,85 cm ²
rot	=	14
grün	=	13
schwarz	=	<u>370</u>
		397



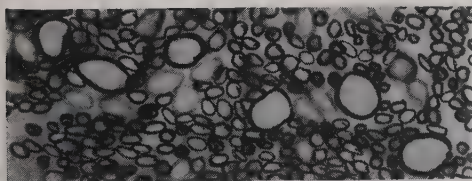
Fl. 4,9 x 6,5	=	31,85 cm ²
rot	=	6
grün	=	18
schwarz	=	<u>410</u>
		434



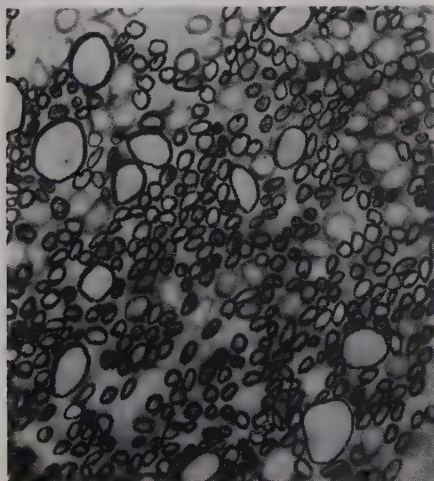
Fl. 6,5 x 6,5	=	42,25 cm ²
rot	=	24
grün	=	105
schwarz	=	<u>822</u>
		951



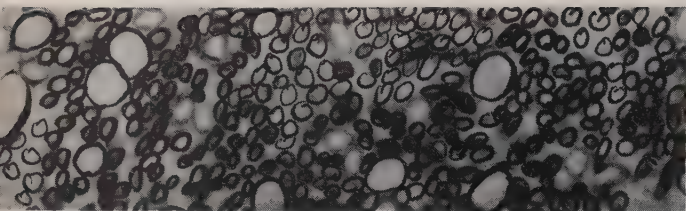
Fl. 3,5 x 6,5	=	22,75 cm ²
rot	=	10
grün	=	30
schwarz	=	<u>219</u>
		259



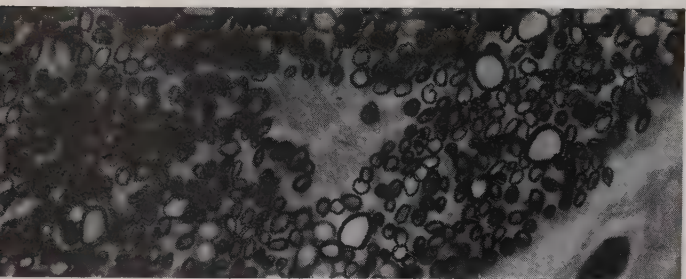
Fl. 6,5 x 2,5	=	17,55 cm ²
rot	=	6
grün	=	20
schwarz	=	<u>277</u>
		303



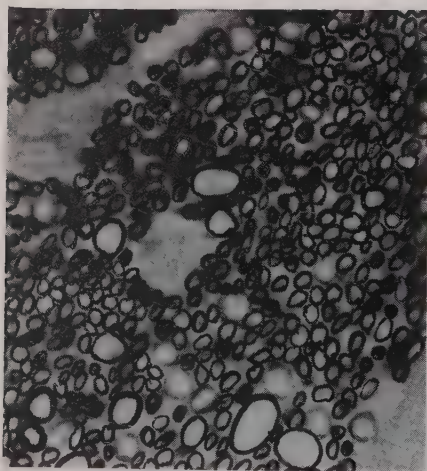
Fl. 6 x 6,5	=	39 cm ²
rot	=	13
grün	=	55
schwarz	=	<u>462</u>
		530



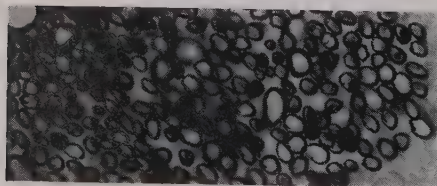
Fl. 9,5 x 3	=	28,5 cm ²
rot	=	12
grün	=	15
schwarz	=	<u>307</u>
		334



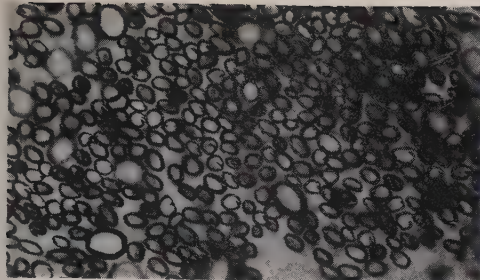
Fl. 9,5 x 4	=	38 cm ²
rot	=	15
grün	=	21
schwarz	=	<u>450</u>
		480



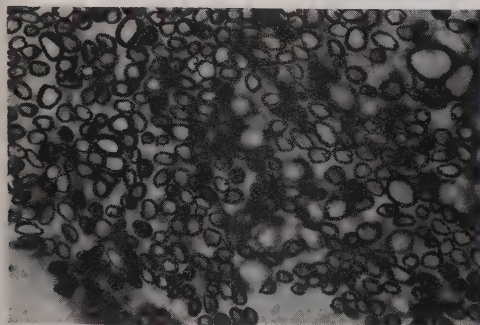
Fl. 5,9 x 6,5	=	38,35 cm ²
rot	=	15
grün	=	15
schwarz	=	<u>479</u>
		509



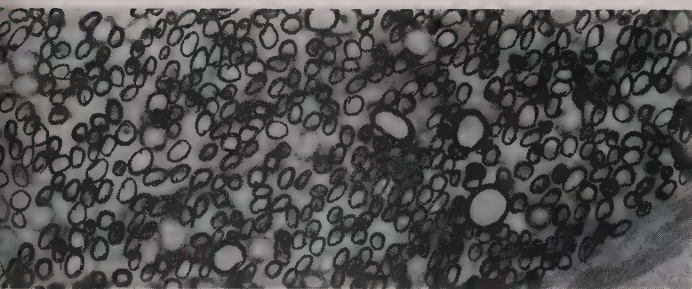
Fl. 5,9 x 2,4	=	14,16 cm ²
rot	=	4
grün	=	6
schwarz	=	<u>212</u>
		222



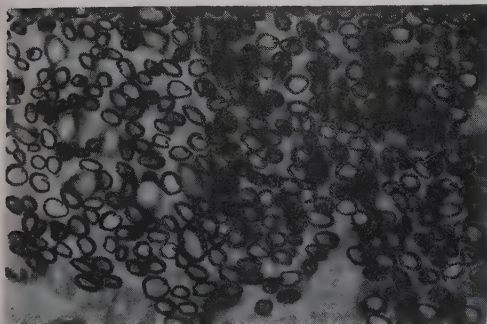
Fl. 6,5 x 3,9	=	25,35 cm ²
rot	=	3
grün	=	10
schwarz	=	<u>384</u>
		397



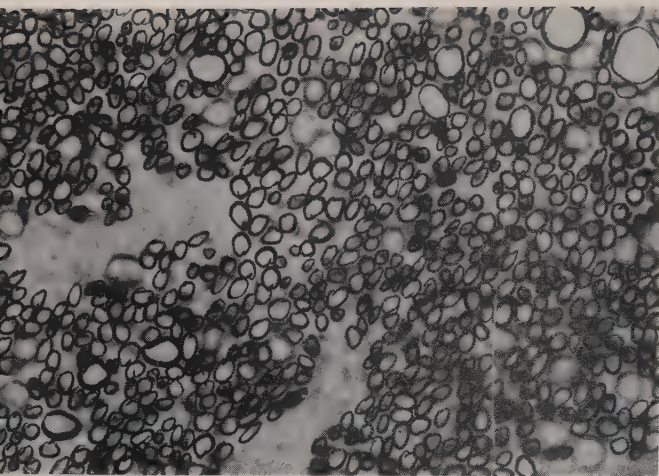
Fl. 6,5 x 4,4	=	28,6 cm ²
rot	=	11
grün	=	22
schwarz	=	<u>385</u>
		418



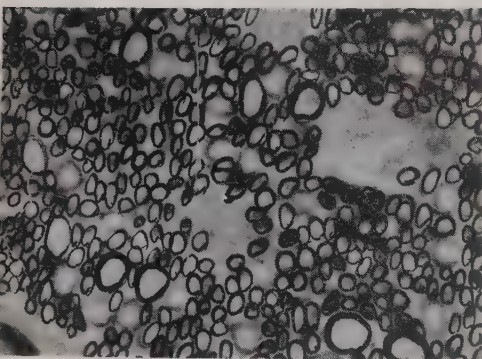
Fl. 9,5 x 4	=	38 cm ²
rot	=	5
grün	=	24
schwarz	=	<u>437</u>
		466



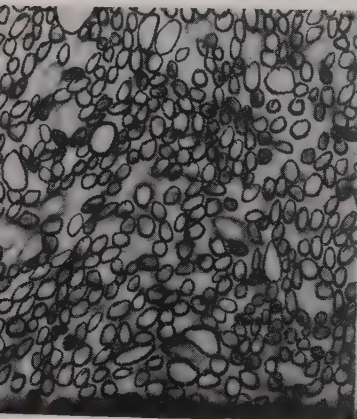
Fl. 4,5 x 6,5	=	29,25 cm ²
rot	=	2
grün	=	7
schwarz	=	<u>340</u>
		349



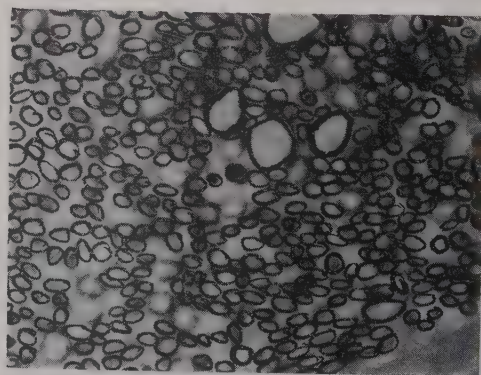
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 9,5 \times 6,5 & = & 61,75 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 9 \\
 \text{grün} & = & 29 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{775} \\
 & & 813
 \end{array}$$



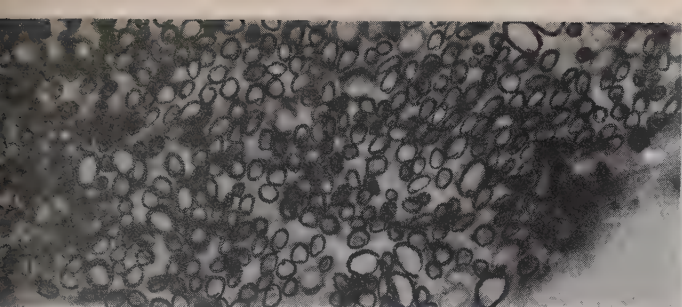
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 6,5 \times 5 & = & 32,5 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 9 \\
 \text{grün} & = & 20 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{396} \\
 & & 425
 \end{array}$$



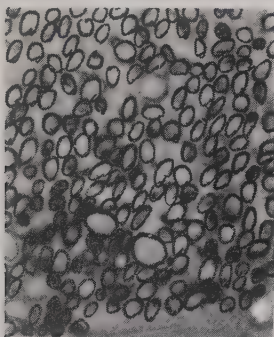
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 5 \times 5,6 & = & 28 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 10 \\
 \text{grün} & = & 12 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{411} \\
 & & 433
 \end{array}$$



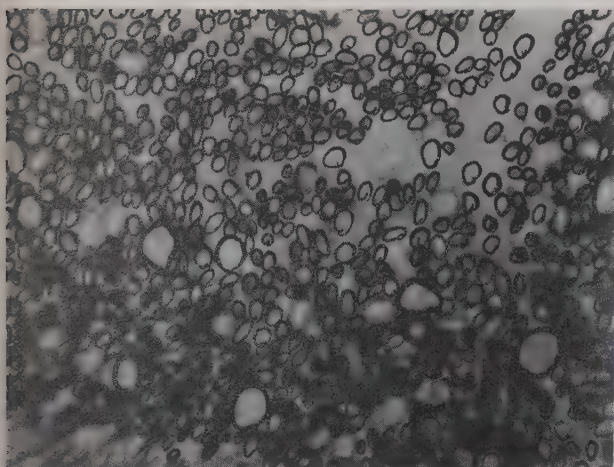
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4,9 \times 6,5 & = & 31,85 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 5 \\
 \text{grün} & = & 25 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{396} \\
 & & 426
 \end{array}$$



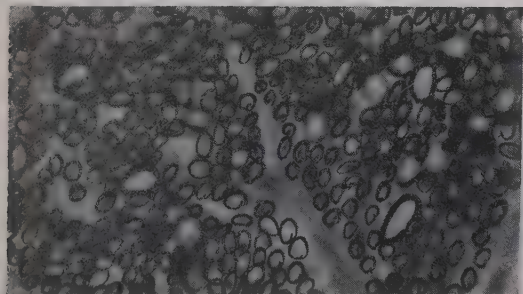
Fl. 9,5 x 4	=	38 cm ²
rot	=	11
grün	=	16
schwarz	=	<u>398</u>
		425



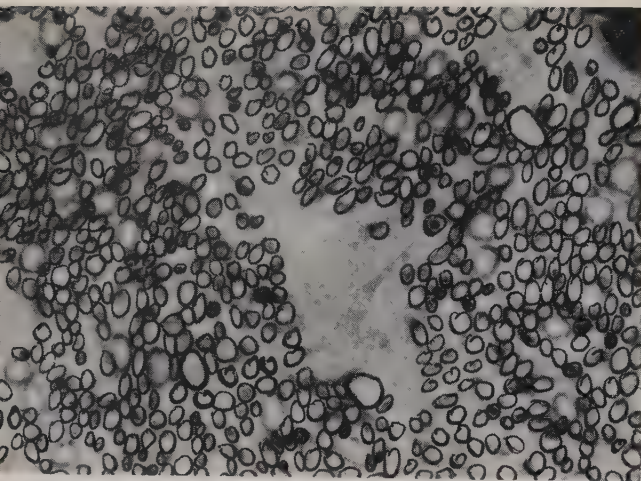
Fl. 3,7 x 4,5	=	16,65 cm ²
rot	=	2
grün	=	4
schwarz	=	<u>204</u>
		210



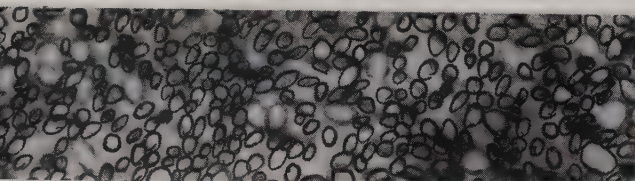
Fl. 8,4 x 6,5	=	54,6 cm ²
rot	=	9
grün	=	29
schwarz	=	<u>778</u>
		816



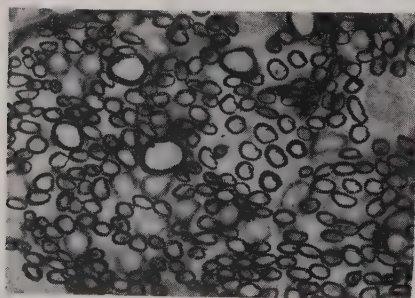
Fl. 6,9 x 4	=	27,6 cm ²
rot	=	5
grün	=	19
schwarz	=	<u>352</u>
		376



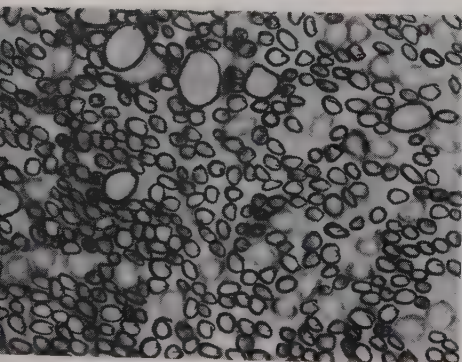
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 9,5 \times 6,5 & = & 61,75 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 5 \\
 \text{grün} & = & 34 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{725} \\
 & & 764
 \end{array}$$



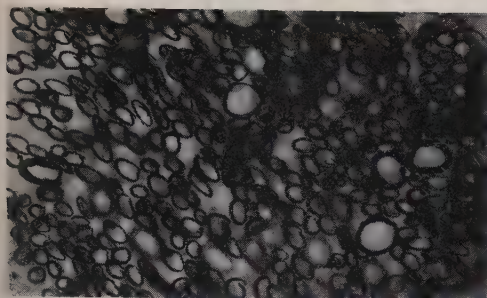
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 9,5 \times 2,4 & = & 22,8 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 1 \\
 \text{grün} & = & 19 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{313} \\
 & & 333
 \end{array}$$



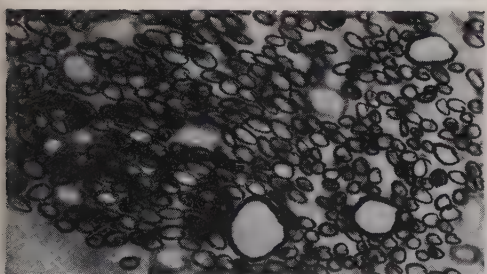
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4 \times 5,7 & = & 22,8 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 5 \\
 \text{grün} & = & 20 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{282} \\
 & & 307
 \end{array}$$



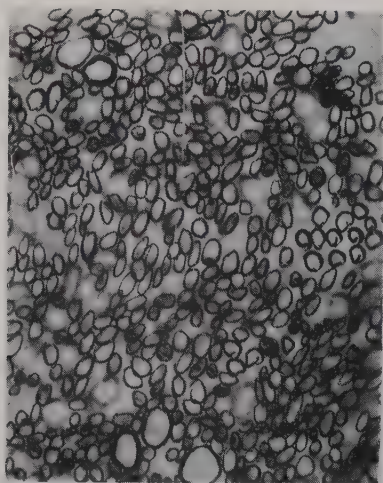
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4,8 \times 6,5 & = & 31,2 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 7 \\
 \text{grün} & = & 28 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{408} \\
 & & 443
 \end{array}$$



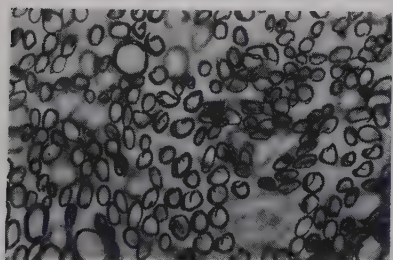
Fl. 4,1 x 6,5	=	26,65 cm ²
rot	=	7
grün	=	15
schwarz	=	<u>363</u>
		375



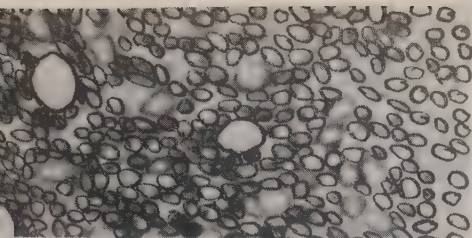
Fl. 6,5 x 4	=	26 cm ²
rot	=	3
grün	=	12
schwarz	=	<u>373</u>
		388



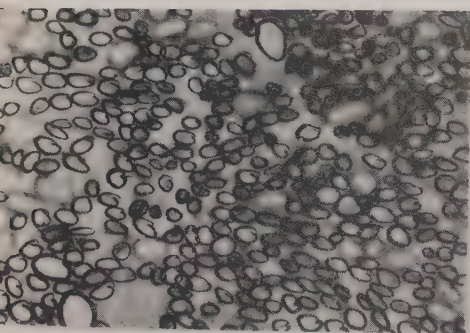
Fl. 5 x 6,5	=	32,5 cm ²
rot	=	5
grün	=	29
schwarz	=	<u>518</u>
		552



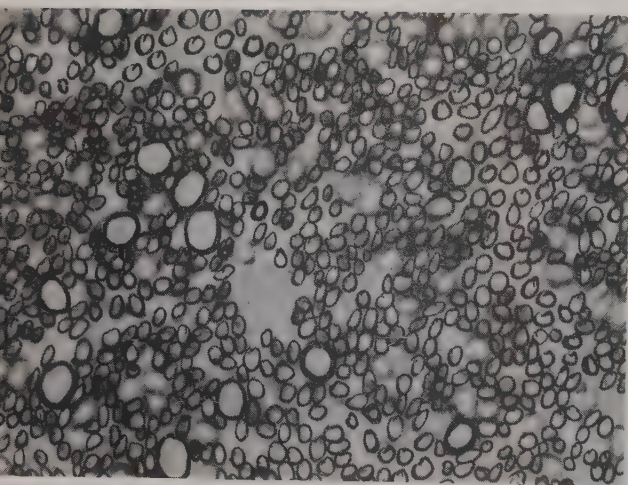
Fl. 5,2 x 3,7	=	19,34 cm ²
rot	=	5
grün	=	17
schwarz	=	<u>243</u>
		265



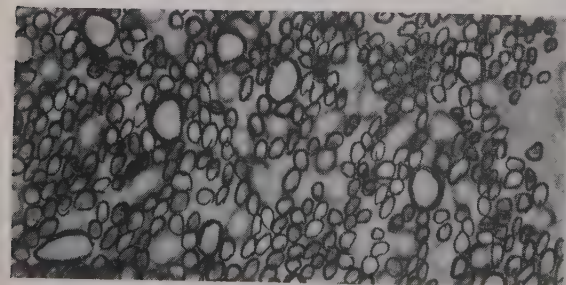
Fl. 6,5 x 3,3	=	21,45 cm ²
rot	=	3
grün	=	17
schwarz	=	<u>291</u>
		311



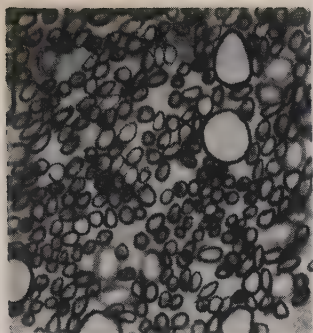
Fl. 4,5 x 6,5	=	29,25 cm ²
rot	=	3
grün	=	26
schwarz	=	<u>359</u>
		388



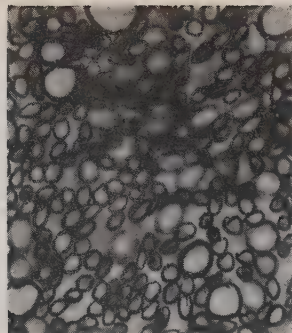
Fl. 9 x 6,5	=	58,5 cm ²
rot	=	18
grün	=	56
schwarz	=	<u>664</u>
		738



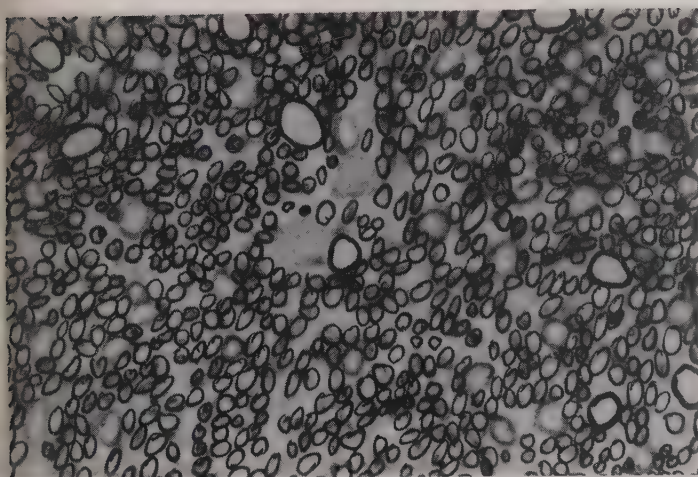
Fl. 7,5 x 3,9	=	29,25 cm ²
rot	=	11
grün	=	24
schwarz	=	<u>373</u>
		408



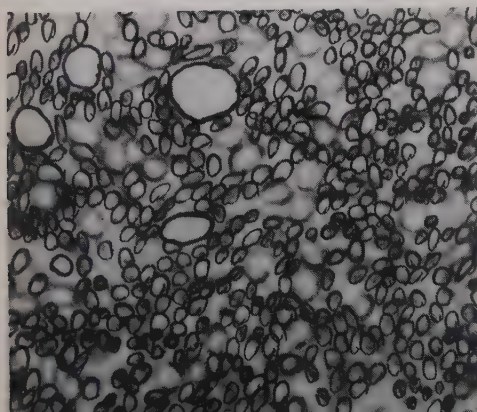
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4,1 \times 4,3 & = & 17,48 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 6 \\
 \text{grün} & = & 12 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{277} \\
 & & 295
 \end{array}$$



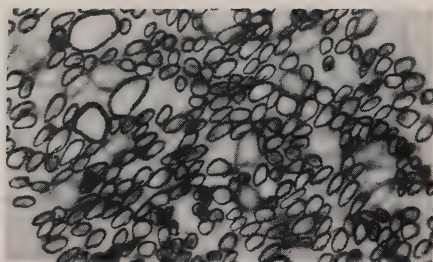
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4 \times 4,5 & = & 18 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 7 \\
 \text{grün} & = & 20 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{233} \\
 & & 260
 \end{array}$$



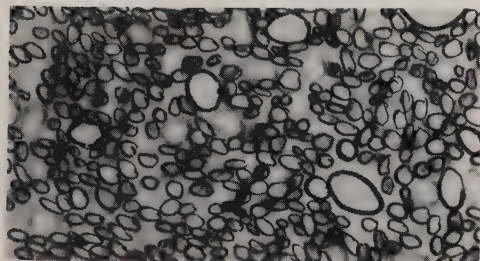
$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 4,5 \times 6,5 & = & 61,75 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 10 \\
 \text{grün} & = & 37 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{786} \\
 & & 833
 \end{array}$$



$$\begin{array}{rcl}
 \text{Fl. } 6,4 \times 5,7 & = & 36,48 \text{ cm}^2 \\
 \text{rot} & = & 4 \\
 \text{grün} & = & 40 \\
 \text{schwarz} & = & \underline{484} \\
 & & 528
 \end{array}$$



Fl.	5,9 x 3,5	=	20,65 cm ²
	rot	=	3
	grün	=	20
	schwarz	=	<u>271</u>
			294



Fl.	6,5 x 3,6	=	23,4 cm ²
	rot	=	7
	grün	=	14
	schwarz	=	<u>358</u>
			379

D.) Untersuchungsergebnisse

Aus folgenden Werten ergab sich die Ermittlung der natürlichen Querschnittsfläche unseres Sehnervenpräparates sowie der Anteil der Nervenfaserfläche:

- a) 100 cm² Fotopappe = 4,0609 g
- b) Gesamtfläche des Opticusquerschnittes (75 fache Vergr.)
CQ Gesamt = 14,8659 g₂
= 366,1 cm²
- c) Nervenfaserfläche (75 fache Vergr.)
N = 12,0478 g
= 296,7 cm²
- d) Septenfläche (75 fache Vergr.)
S = 2,8181 g
= 69,4 cm²

Durch Division mit 75² (benutzte Vergrößerung) Umrechnung auf natürliche Größe.

- CQ Gesamt = 6,509 mm² (natürliche Gesamtquerschnittfläche)
- N₀ = 5,257 mm² gesamte Nervenfaserfläche
- S₀ = 1,234 mm² Septenfläche

Bei der unter 1250 facher Vergrößerung vorgenommenen Auszählung der einzelnen Sehnervenfasern wurde eine Fläche von 1.363,1 cm¹ (= N') - dies entspricht rund 1/60 der Gesamtfläche - untersucht. Es fanden sich dabei insgesamt 19.617 markhaltige Nervenfasern (F' = 19.617 Fasern). Davon entfielen auf den Fasertyp o und p 362 = 1,8%, auf den Fasertyp m und n 1.152 = 5,9% und auf den Fasertyp s 18.103 = 92,3%. Durch folgende Formel läßt sich die Gesamtzahl der markhaltigen Sehnervenfasern ermitteln. Auf N' cm² entfallen bei 1250 facher Vergrößerung F' Fasern. Auf 1 cm² befinden sich somit bei 1250 facher Vergrößerung F'/N' Fasern. Bei einer gleichen Vergrößerung (1250 fach) der gesamten Nervenfaserfläche N_{v2} würde die Vergrößerungsfläche N_v = N₀ x 1250², d.h. 82.422 cm² betragen. Damit ergibt sich die Gesamtzahl der markhaltigen Sehnervenfasern (F) aus der Formel:

$$F = F'/N' \times N_v, F = \frac{19.617}{1363,1} \times 82.422 = 1.186.172.$$

III. BESPRECHUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Nach der von mir dargestellten und benutzten Methode ergibt sich, daß sich im Fasciculus opticus eines gesunden 30 jährigen Mannes insgesamt 1 186 000 markhaltige Sehnervenfasern annehmen lassen. Davon entfallen 92,3% oder 1 094 678 auf die dünnen Sehnervenfasern, 5,9% oder 69 974 auf die mitteldicken und 1,8% oder 21 348 auf die dicken Sehnervenfasern. Es läßt sich aus diesen Ergebnissen die Folgerung ableiten, daß nicht jedes einzelne Zapfenelement der Netzhaut über eine direkte Ableitungsmöglichkeit verfügt, sondern daß im Gegenteil für 6 bis 7 Mill. Zapfen nur etwa 1 Mill. ableitende Sehnervenfasern zur Verfügung stehen. Diese Untersuchungsergebnisse erfordern insofern Beachtung, als sie eine Bestätigung für die neueren auf elektro-physiologischem Gebiete gewonnenen Forschungsergebnisse von Granit eröffnen würden, nach welchen anzunehmen ist, daß es in der Netzhaut Zapfen mit unterschiedlichen Funktionen gibt. Von Granit werden diese unterschiedlichen Zapfen Dominatoren und Modulatoren genannt. Die letztgenannten Zapfen sollen jeweils in Sechsergruppen zusammenarbeiten und für das Farbensehen von entscheidender Bedeutung sein.

Die Granit'sche Theorie würde sich gut in Übereinstimmung mit der Zahl der gefundenen markhaltigen Sehnervenfasern in Einklang bringen lassen, da bei einer Aufgliederung der retinalen Sinnesfläche in einzeln ableitende und in Sechsergruppen ableitende Zapfen die Zahl der Zapfenelemente und der ableitenden dünnen Sehnervenfasern in einem auffällig übereinstimmenden Verhältnis stehen würde. Weiterhin scheint die gefundene Zahl der mitteldicken und dicken Sehnervenfasern die Vorstellung von Oppel zu bestätigen, daß in dem von ihm als Hell-Dunkelapparat und Orientierungsapparat bezeichneten Funktionsgefüge die Zusammenarbeit größerer Netzhautareale durch Polysynaptische Schaltmechanismen in der Netzhaut mit einer relativ kleinen Zahl von ableitenden Sehnervenfasern auskommt.

Somit darf für fernere Veröffentlichungen über markhaltige Sehnervenfasern im Fasciculus opticus des Menschen von einer Anzahl von rund 1 186 000 markhaltigen Sehnervenfasern ausgegangen werden. Meine Ergebnisse stimmen fast mit den Angaben von Bruesch und Arey (1 140 000) und annähernd mit denen von Polyak (800 000 - 1 000 000) überein.

In Anlehnung an die von Polyak für die Ganglienzellschicht der Netzhaut eingeführte Einteilung der verschiedenen Opticusganglienzelltypen ergeben meine Untersuchungen ferner, daß der Anteil der einzelnen Kaliber der markhaltigen

Sehnervenfasern sich in einen Fasertyp o und p, einen Fasertyp m und n und einen Fasertyp s differenzieren und folgende Prozentsätze erkennen läßt:

- a) für den großkalibrigen Fasertyp o, p = 1,8%
- b) für den mittelkalibrigen Fasertyp m, n = 5,9%
- c) für den kleinkalibrigen Fasertyp s = 92,3%

Die Gesamtzahl der ermittelten markhaltigen Sehnervenfasern beträgt 1 186 172; davon entfallen auf den Typ o und p 21 351, auf den Typ m und n 69 984 und auf den Typ s 1 094 837 markhaltige Sehnervenfasern.

Aus diesen Auszählungen ergeben sich weitreichendere Folgerungen und Konsequenzen, als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Durch die ermittelten Anzahl von 1 094 837 kleinkalibrigen, jedoch relativ markreichen Nervenfasern vom Typ s drängt sich der Schluß auf, daß nicht jedes einzelne Zapfenelement der Netzhaut über eine 1 : 1-Direktfortleitung verfügt.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der von uns angewandten und beschriebenen Methode wurden im Fasciculus opticus eines gesunden 30 jährigen Mannes insgesamt 1 186 172 markhaltige Sehnervenfasern ermittelt, deren erhebliche Kaliberunterschiede bereits an den Axonen der Ganglienzellschicht hervortreten. Die Anzahl der dem Typ s der Opticusganglienzellen entstammenden kleinkalibrigen Nervenfasern beträgt 1 094 837, ihr Durchmesser mißt unter 2μ . Die Gesamtzahl der mittelkalibrigen Fasern vom Typ m und n ($2-4\mu$) wurde mit 69 984 und die der großkalibrigen Nervenfasern vom Typ o und p mit einer Gesamtzahl von 21 351 ermittelt.

V. LITERATUR

- Bruesch, S. R., and L. B. Arey: An enumeration of myelinated and unmyelinated fibers in the optic nerve of vertebrates. *Anat. Rec. Suppl. (Amer. Assoc. Anat.)* 76, 10 (1940)
- Chang, H. T.: *J. Neurophysiol.* 19, 224 (1956). Zit. nach Müller Limmroth, *Elektrophysiologie des Gesichtssinnes*, S. 224-225. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959.
- Dodt, E.: Centrifugal spikes in the rabbit's retina. *J. Physiol. London* 128, 12 (1955).
- Granit, R.: Receptors and sensory perception. A discussion of aims, means and results of electrophysiological research into the process of reception. (Sillimans Lectures). New Haven: Yale University Press 1955.
- Gudden: *Gesammelte Abhandlungen*, Wiesbaden (1889).
- Henschen, S. H.: Zur Anatomie der Sehbahn und des Sehzentrums. *Graefes Archiv für Ophthalmologie* 117, 403 (1926).
- Krause, W.: Über die Fasern des Sehnerven und der Netzhaut. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthalm.* 26 (2), 102 (1880).
- Kuhnt, H.: Zur Kenntnis des Sehnerven und der Netzhaut. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthalm.* 25 (3), 179 (1879).
- Lennox, M. A.: *Acta physiol. scand.* 42 Suppl., 145 (1957). Zit. nach Müller-Limmroth, *Elektrophysiologie des Gesichtssinnes*, S. 224-225. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1959.
- Oesterberg, G.: Topography of the layer of rods and cones in the human retina. *Acta ophthalm. (Kbh.)*, Suppl. 6 (1935).
- Oppel, O.: Entwicklungsgeschichtliche Betrachtungen über die funktionelle Natur der Amblyopie. *Med. Welt* Nr. 11, S. 568-573 (1960).
- Oppel, O.: Über unsere gegenwärtigen Vorstellungen vom Wesen der funktionellen Schwachsichtigkeit (Amblyopie). *Klin. Mbl. Augenhk.* 136. Band, 1. Heft, S. 1-20 (1960).
- Polyak, S. L.: *The Retina*. Chicago (Ill.): Chicago Univ. Press 1941.
- Rohen, J.: Anatomie des Auges, in: *Der Augenarzt*, Bd. 1, S. 17, Leipzig, Georg Thieme 1958.

Salzer, F.: Über die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinazapfen im Auge des Menschen. S.-B. Akad. Wiss. Wien, Abt. III, math.-nat. Kl. 81, 1, 7 (1880).

Weigert, C.: Zur Markscheidenfärbung. Dtsch. med. Wschr. 17, 1184 (1891).

Westphal: Über die Markscheiden der Gehirnnerven des Menschen. Archiv Psychiatrie 29, 474 (1898).

Herrn Professor Dr. med. O. O p p e l und Herrn Dr. med. M r o d z i n s k y
danke ich für die Anregungen und ihre Hilfe bei dieser Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 24.4.1935 wurde ich in Marjayoun/Libanon geboren. Von 1941 bis 1954 habe ich im Marjayoun National College studiert und mein High School Diplom erhalten. Vom Wintersemester 1954 bis Sommersemester 1956 besuchte ich das amerikanische College in Aleppo/Syria und verließ dieses mit Sophomore-Diplom in Biologie und Chemie.

Anschließend studierte ich Medizin und Biologie in der American University of Beirut/Libanon. Ende August 1957 kam ich nach Deutschland, erlernte im Goethe-Institut bei München innerhalb von zwei Monaten die Grundbegriffe der deutschen Sprache. Im November 1957 immatrikulierte ich mich an der Johannes Gutenberg-Universität zu Mainz. Das Physikum bestand ich im Sommer 1959, da das Vorphysikum vom Ministerium angerechnet wurde. Das medizinische Staatsexamen beendete ich im Mai 1963.

